

早稲田大学大学院情報生産システム研究科

博士論文審査結果報告書

論 文 題 目

Dynamic Scheduling for Discrete Production Systems by Multi
Objective Dispatching Rule Synthesis based on Data Envelopment
Analysis and Reinforcement Learning

申 請 者

Chen, Xili

情報生産システム工学専攻
生産情報制御研究

2011 年 9 月

顧客ニーズの多様化や製品ライフサイクルの短期化に対応するために、多種変量生産システムに対するニーズが増大してきている。その代表的なものにジョブショップ生産システムがある。ジョブショップ生産システムは、多段処理工程・複数機械を有する離散型の多品種混合生産システムであり、多種類の納期要求付きジョブが、ジョブの種類に応じて、ある確率分布に従いランダムかつ離散的に発生し、定められた工程順序と、各工程に割当てられた機械によって加工処理されることにより生産が行われる。

ジョブショップ生産システムの運用においては、生産スループットと納期遵守率の達成を同時に追求する多目的生産スケジューリングが求められるが、不確定な生産要求条件（ジョブ発生頻度や処理工程の処理時間の確率的なバラツキ）を有するジョブショップ生産システムでは、各機械におけるジョブの処理順序をあらかじめ最適化する静的なスケジューリングは困難である。

このため、ジョブショップ生産システムを待ち行列ネットワークとみなし、新たなジョブの処理を開始する時点で、各機械の待ち行列内に滞留している処理待ジョブの生産情報（工程処理順序、標準処理時間、納期余裕時間等）にもとづき、ジョブの処理順序を動的に決定するディスパッチングルールが実用的な方法として用いられている。しかし、生産スループット向上と納期遵守率向上は互いにトレードオフ関係にあるため、これらの目的を、できるだけ高い達成度で、かつ生産計画者が意図する優先度に応じて柔軟に実現できる多目的ディスパッチングルールが必要とされている。また、目的の達成度を顧客や製品グループに応じて調整できる顧客指向生産が求められている。

これに対し、多目的スケジューリングの各目的にそれぞれ有効なディスパッチングルールを加重和して統合し、多目的ディスパッチングルールを構成する方法が提案されている。しかし、ある特定の生産要求条件のもとでの有効性が示されているに留まっており、種々の生産要求条件の変化が生じる実際の生産システムでの多目的ディスパッチングルール構成方法としては、汎用性や柔軟性の点で不十分であった。

本論文では、上記の問題に対する解決策を与える実用的な多目的ディスパッチングルールの構成方法を提案しており、シミュレーション実験によりその有効性を明らかにしている。以下、各章の内容を要約し評価を述べる。

第1章では、本論文の研究背景、動的スケジューリングの必要性と課題、提案内容の概要について述べ、第2章以降の内容を要約している。

第2章では、すでに提案されているディスパッチングルール（以下“既知ディスパッチングルール”と記す）の概要を述べている。そして、多目的ディスパッチングルールを構成するための実際的な課題として、（課題1）加重和する既知ディスパッチングルール群の選定と各ディスパッチングルールの加重和重み値の決定方法、（課題2）複数のジョブグループごとの処理優先度を考慮した多目的ディスパッチングルールの構成方法、（課題3）ジョブショップ生産システムにおけるボトルネック機械の負荷状況を考慮した多目的ディ

スパッチングルールの構成方法、の 3 つが解決すべき重要な課題であることを述べている。

第 3 章では、(課題 1) に対する解決策を提案している。与えられた生産要求条件のもとで、候補となる既知ディスパッチングルールを用いてジョブ処理工程のシミュレーションを行い、多目的スケジューリングの個別目的に対する既知ディスパッチングルールの目的達成度の指標データを得ている。さらに、既知ディスパッチングルールを意思決定主体、生産要求条件を入力、得られた目的達成度の指標データを出力、とみなして包絡分析を行うことにより、既知ディスパッチングルール群の相対的な目的達成効率を分析し、目的達成のための効率的フロンティア（パレート最適解集合）を構成するディスパッチングルール群を求めている。そして、求めたディスパッチングルール群を加重和し、Global Criterion Approach 指標（GCA 値とも呼ばれる多目的スケジューリングの目的達成度評価指標で、その値が小さいほど目的達成度が高く、かつ生産計画者が意図する目的達成優先度との適合度が高い）を最小化するディスパッチングルールの加重和重み値をシミュレーションにより実験的に決定し、その重み値を用いて多目的ディスパッチングルールを構成している。

5 種類のパイプの射出成型処理工程を評価対象とし、スループットと納期に関係する 3 つの目的（フロータイム、納期遅れ合計時間、納期達成ジョブ割合）を設定し、提案方法で得られたディスパッチングルールと、従来方法で得られたディスパッチングルール（個別目的達成のベストパフォーマンス・ディスパッチングルールを実験的に求めて加重和したもの）について、異なる 2 つの生産要求条件のもとでシミュレーションを行い、得られたスケジューリング結果について GCA 値で比較評価した結果、それぞれ GCA 値を約 27%、および約 45% 改善（減少）している。

第 4 章では、(課題 2) に対する解決策を提案している。第 3 章で提案した多目的ディスパッチングルールによって得られたジョブの実行順序をもとに、あるジョブグループに属するジョブを優先したジョブの処理順序を新たにジョブグループごとに生成し、Analytic Hierarchy Process(AHP と呼ばれ、階層化された多目的指標にもとづく相対優位度の統合により、選択肢をランキングする方法) により、ジョブ処理の相対優位度の一対比較表を生成している。そして、上位階層の評価項目であるジョブグループの処理優先度によりジョブ処理の相対優位度を重み付けして計算された統合優位度により、各ジョブをランキングして、ジョブの最終的な処理順序を決定するディスパッチングルールを提案している。

第 3 章と同じ射出成型処理工程を評価対象として、3 つのジョブグループを設定し、それらの処理優先度をそれぞれ変化させて、提案したディスパッチングルールをシミュレーションして得られたスケジューリング結果を GCA 値で評価し、GCA 値と処理優先度との関係を回帰分析した結果、ジョ

ブグループの処理優先度に応じて GCA 値を近似的に非線形に調整できることを示している。

第 5 章では、(課題 3) に対する解決策を提案している。3 章で提案した多目的ディスパッチングルールと与えられた生産要求条件のもとで、複数機械からなるジョブショップ生産システムのシミュレーションを行い、その結果を Q-learning 機能にフィードバックする教師無し学習により、生産計画者の意図する目標達成の優先度に最も適合するディスパッチングルールの加重和重み値を機械ごとに学習させる方法を提案している。リワード値として、各機械における平均フロータイムの短縮率を反映するローカルリワード値と、ボトルネックを含む機械の負荷状態を表す WIP レート(ジョブショップ生産システム全体での処理待ちジョブ数と各機械における処理待ちジョブ数の比)の増加率を反映したグローバルリワード値を導入し、両者を合計した総合リワード値を用いた Q-learning により最適加重和重み値を学習している。

スケジューリング評価のベンチマークとして用いられているジョブショップ生産モデル(異なる処理工程を有する 5 種類のジョブ処理要求と 5 機械からなるモデル)を用いて、提案方法と従来方法(加重和重み値を変化させてシミュレーションして得られた目的達成指標データを多次元回帰分析してディスパッチングルールの重み値を決定する方法)により得られた多目的ディスパッチングルールをそれぞれシミュレーション評価して得られたスケジューリング結果について GCA 値で比較評価した結果、GCA 値を約 36% 改善(減少)している。重み値の学習にかかった計算時間はシミュレーションを含め約 8 分(Pentium4, 3GHz, 2GB DDR Memory)であり、従来方法で重みを決定するのに必要な時間に対して全体で約 10% に短縮している。

第 6 章では、本研究の成果をまとめ、今後の課題について述べている。

以上を要約すると、本論文は、フレキシブル生産に対応可能なジョブショップ生産システムにおいて、生産要求条件が変化するもとで、多目的スケジューリングの目的を、できるだけ高い達成度で、かつ生産計画者が意図する優先度に応じて柔軟に実現し、顧客や製品グループごとに目的達成度を調整することが容易な多目的ディスパッチングルールの構成方法を提案し、シミュレーション実験によりその効果を確認している。

本論文の成果は学術的にも新規性があり、ジョブショップ生産システムを含む、待ち行列モデルに帰着される離散型トランザクション処理システムのスケジューリング方法として、応用面からも広い有効性があると判断できる。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2011 年 8 月 29 日

主査	早稲田大学	教授	工学博士 (東京工業大学)	村田	智洋
	早稲田大学	教授	工学博士 (東京工業大学)	大貝	晴俊
	早稲田大学	教授	博士(工学)(早稲田大学)	藤村	茂